



TITLE:

再帰的な事象についての心理学的考察

AUTHOR(S):

林, 創

CITATION:

林, 創. 再帰的な事象についての心理学的考察. 京都大学大学院教育学研究科紀要 2003, 49: 290-302

ISSUE DATE:

2003-03-31

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/57486>

RIGHT:

再帰的な事象についての心理学的考察

林 創

Psychological Consideration about Recursive Phenomenon.

HAYASHI Hajimu

1. はじめに

本論文は、再帰的 (recursive) な事象についての人間の認識を心理学的な視点から考察することを試みるものである。こうした認識は、「人間らしい知性とは何か?」という心理学の根源的な問題を考える上でひとつの鍵となる可能性があるが、諸研究をまとめるような考察がほとんどなされてこなかった。そこで、新たな枠組みを提示し、有効な方向性を検討してみたい。

2. 再帰的な事象とは何か

図1のマンガは、道田・宮元・秋月 (1999) の「パパの失敗」より引用したものである。さつきちゃんと彼女のパパ、ママの3人が登場人物である。

このマンガは、「ママは<パパが背広を間違えた>と思っている」が「さつきちゃんは『ママは<パパが浮気をした>と思っている』と思っている」というように、「実際のママの信念」と「さつきちゃんの信念の中でのママの信念」の内容がズレている点におもしろさがある。すなわち、単なる「心的状態」(一次)ではなく、「自己埋め込み構造をもつ心的状態」(二次)を読み取ることで、このマンガのおもしろさが浮き上がるのである。

このような自己埋め込み構造のように、あるものが部分的にそれ自身で構成、あるいは定義されているとき、それは「再帰



図1 「パパの失敗」(道田・宮元・秋月, 1999より引用)

的」である (Wirth, 1986) といわれる。再帰的とは、上記のような「再帰的な心的状態の理解 (understanding of recursive mental states)」だけでなく、論理的思考の重要な特質のひとつでもあり、数学では漸化式 (recursion formula) や数学的帰納法 (principle of mathematical induction) が再帰的な構造をもっている。このように再帰的な事象はさまざまな形で存在しており、以下のような意義があるという点で重要である。

第1に、単純な構造から無限性を生み出すことができるという点にある。たとえば、再

帰的な心的状態の理解や漸化式の使用においても、一次 ($n=1$) から二次 ($n=2$) に飛ぶことができれば、あとはそのしくみを適用することで、 n 次 (n) の理解が可能になる。これはさまざまな領域での思考の創発性 (emergence) につながるという点でも重要な特性であるといえる。

第2に、こうした構造を理解できることが人間らしい知性の一端を示す可能性があると考えられるからである。チンパンジーや大型類人猿は、「他個体の心的状態を理解すること」の一步手前である「他個体の目に映ったことを理解すること」が可能であり (小川, 1997)、一次の心的状態もしくはそれにほぼ近いレベルまでは到達しているといえる。しかしながら、二次以上の再帰的な心的状態の理解は人間のみが到達しているレベルである可能性が高く、ここに人間らしい知性を構成する大きな鍵が隠されていると考えられる。

以上のような理由から、再帰的な事象は存在意義があり、ゆえに、こうした事象に対する認識を、心理学的研究の対象として扱う必然性がある。

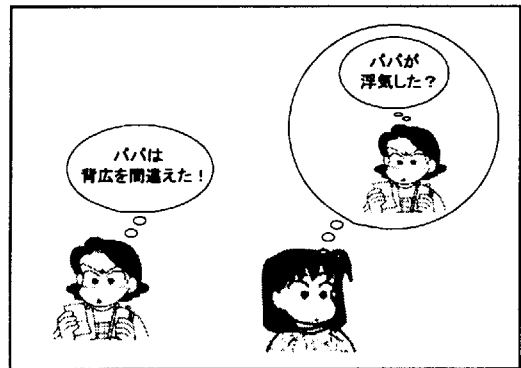


図2 「パパの失敗」の再帰的な心的状態
(道田・宮元・秋月, 1999を改変)

3. 再帰的事象の2つの研究領域

人間の知性や認識を捉える枠組みは、心理学において知能の研究として発展してきたが、近年では、知能はコンピュータのような汎用のひとつのもので構成されているのではなく、それぞれが協調しつつも相対的に独立した複数のもので構成されていると考える「心のモジュール説 (modularity theory of mind)」を示唆する知見が、さまざまな分野で次々と報告されてきている (子安, 1999)。

たとえば、心理学者のGardner (1983, 1999) は、多重知能の理論 (theory of multiple intelligences) を提唱し、その構成要素として、言語を学ぶ能力やある目標を達成するために言語を用いる能力などに関係する「言語的知能 (linguistic intelligence)」, 問題の論理的な分析、数学的な操作の実行、科学的に研究する能力などに関係する「論理-数学的知能 (logical-mathematical intelligence)」, 音楽のパターンの演奏や作曲、鑑賞の能力に関係する「音楽的知能 (musical intelligence)」, 問題解決に身体部位を使う能力に関係する「身体-運動感覚的知能 (bodily-kinesthetic intelligence)」, 空間パターンを認識して操作する能力に関係する「空間的知能

(spatial intelligence)」、他者の意図や動機づけ、欲求を理解し、他者とうまくやりとりする能力に関係する「対人的知能 (interpersonal intelligence)」, 自分自身を理解する能力に関係する「個人内知能 (intrapersonal intelligence)」の7つを (Gardner, 1983), 最近ではそれらに、動植物の分類のように種間の関係を描き出す能力に関係する「博物的知能 (naturalist intelligence)」を加えた8つを取り上げている (Gardner, 1999)。

また、認知考古学者のMithen (1996) は、主として他者との関係において発揮される「社会的知能 (social intelligence)」, 主として物の操作やそれらの関係を理解する上で発揮される「技術的知能 (technical intelligence)」, 主として言語の産出と理解の上で発揮される「言語的知能 (linguistic intelligence)」, 主として動植物の分布の理解や食物の獲得に際して発揮される「博物的知能 (natural history intelligence)」の4つに分類した上で、類人猿から現代人にいたるまでの知能の進化を検討している⁹⁾。

これまでの再帰的な事象に対する認知の研究対象は、抽象的な事物の操作において現れる再帰と、冒頭の例のような心的状態の理解において現れる再帰性とに大きく2つに分けられる。上記の複数の知能観の枠組みに即して言えば、前者は、Gardner (1983, 1999) の提唱する論理—数学的知能、もしくはMithen (1996) の技術的知能が相当する領域である。後者は、Gardner (1983, 1999) の提唱する対人的知能と個人内知能、もしくはMithen (1996) の社会的知能が相当する領域である。そこで、この2つの領域で行われてきた研究を以下にまとめることにする。

(A) 論理—数学的知能に関する研究

論理—数学的知能に関する再帰的な事象についての認知研究として典型的なものが、プログラミング言語に関わるものである。再帰を用いると複雑な問題を簡潔に記述でき、効率のよいプログラムで解決できる。ゆえに、再帰概念を理解し、それを用いた正確なアルゴリズムを記述できることが重要になる。ところが、それが通常の人間には難しいため、例題を雛型とした学習 (Anderson, Pirolli, & Farrell, 1988) や、プラグマティックな表現による教示 (谷川・市川, 1996) の有効性などが検討されてきた。

しかしながら、プログラミングはその考え方 (アルゴリズム) をプログラミング言語でコーディングする必要があり、その元となる人間の再帰的な認識を直接的に扱っているわけではない。ゆえに、実際は再帰的な考え方ができたとしても、プログラムを作成できないことで、再帰概念を理解できていないとか再帰的な考え方ができないと判断される恐れがある。

そこで、プログラミング言語から離れた部分で再帰的な認識を検討するという研究も行われてきた。糸井 (1982) の実験1は、再帰的な構造をもつ情報をワーキングメモリに保持する能力を「再帰的な情報処理能力」と操作的に定義し、それが再帰的な推論を制約することを、日常言語を用いて推論できるパラドックス課題を材料にして示した。また、林 (1999) は、プログラムが作成できるか否かではなく、アルゴリズムをたどることが可能かどうかという観点から、再帰的処理に関わる困難要因を検討した。その結果、ワーキングメモリの負荷のみならず、「自分自身を呼び出す」という再帰的な考え方に固有の難しさがあることが示唆された。

さらに、実際の問題解決場面でこのような処理を行えるかどうかの検討もなされている。たとえば、林 (2002d) は、ある処理構造をアルゴリズム (フローチャート) で記述した場合、再帰

的構造が含まれる考え方を「再帰的な考え方」と定義し、再帰的な考え方によって、サイズが大きく複雑な問題に対して効率よく解決する能力を多くの人間が有していることを明らかにした。

(B) 社会的知能に関する研究

社会的知能に関する再帰的な事象についての認知研究としては、冒頭に例示した「再帰的な心的状態の理解」に関する研究がある。はじめてこの問題に取り組んだといえるのが、Miller, Kessel, & Flavell (1970) である。この研究では、図2のような吹き出し (bubble) を埋め込むことで「『他者が…と考えている』と第三者が考えている」という状態を表現した図版が用意された。それらを小学1～6年生に見せて、言語表現してもらった。その結果、吹き出しが増え、再帰的な心的状態になると、6年生になっても言語化するのが難しかった。その後、いくつかの追試が行なわれたが、結果はほぼMiller et al. (1970) を追認した。これらの研究は、埋め込まれた吹き出しを埋め込み文に言い換える統語的能力をテストするものとはいえるが、肝心の「再帰的な心的状態の理解」を測定しているのが明確でないという大きな問題があった (林, 2001)。

この問題に新たな視点をもたらしたのが「心の理論 (theory of mind)」研究であった。Perner & Wimmer (1985) は、心的状態の信念に焦点をあて、一次的信念の理解を調べる「誤った信念課題」をもとに、二次的信念の理解を調べる「二次的信念課題」を開発した。この課題を用いた結果、6～9歳ごろに正答率が上がることがわかった。その後、この課題の構造を単純化することにより、再帰的な心的状態の理解そのものは7歳頃から可能になることが明確になった (林, 2002a, 2002c)。

また、再帰的な心的状態の理解ができる意義として、「うそと冗談の区別」との関連 (Leekam, 1991; 林, 2002a) や「道徳・責任性判断」との関連 (Yuill & Perner, 1987; 林・浅井・高橋, 2002) といった問題が検討されている。これらの研究から、再帰的な心的状態を理解することで、同一の発話に対してうそと冗談を区別するというような日常的に考えられる複雑な状況にも対応できるようになるのが、8～9歳頃であることが明らかになった。

さらに、こうした再帰的な心的状態の理解によって、人間らしい高度で微妙なやりとりを含むコミュニケーションが成立していることが示唆されている (金沢, 1999; 林, 2002b)。

4. 概念・用語の定義

以上のように、論理—数学的知能および社会的知能に関わる領域で、再帰的な事象に対する認知の研究が実施されてきており、各々の領域において人間らしい高度な知性のあらわれを示唆する知見が得られている。しかしながら、ここで問題となるのが、この2つの研究パラダイムをどう整理し、位置づけることができるかということである。

実は、「再帰的」あるいは「再帰」ということばは、日常的に (あるいは学術的な文献においても) あいまい、かつ多義的な意味で使われている。議論を進める上で、同じ「再帰的」あるいは「再帰」という用語を用いていながら、念頭においている概念が異なるのでは混乱が生じる可能性がある。そこで、これらの概念を整理したうえで、再帰的な事象についての認知研究として、どのような基準が必要であり、どこまでの範囲を取り扱えるのかを明確にする必要がある。

この多義的な意味で使われるという問題について、それらをまとめようとする試みがまったくなされてこなかったわけではない。たとえば、Vitale (1989) は、以下の試案的定義を行なっている。すなわち、あるAが「再帰的」であるには、

- (a) 自己参照性 (self-reference) : それ自身の中に永続性が存在すること。
- (b) レベルの段階性 (level-stepping) : 無限退行 (infinite regress) を防ぐために、変化の要素があること。Aの中に現れる別のAは、元のAと異なった側面をもつ。

が満たされる必要があるとして、いくつかの例をあげながら確認している。たとえば、漸化式など数学的概念における再帰は、自己参照と変化の要素があり、(a)と(b)をともに満たすので、再帰的であるという。しかしながら、「さつきちゃんは『ママは<パパが浮気をした>と思っている』と思っている」といった再帰的な心的状態の理解は、(a)と(b)をともに満たさないので再帰とはいえないという。その理由は、「思っている」が反復されているだけであり、また、文の中の「思っている」がすべて同じであり、変化がないためであるという。また、プログラミング言語における再帰は、引数 (parameter) がある場合、(a)と(b)をともに満たすので再帰的であるが、引数がない場合は変化がないので(b)を満たさず、再帰的とはいえないという。

Vitale (1989) の考え方にはいくつかの問題がある。第1に、プログラミング言語における再帰の判断に問題がある。一般にプログラミング言語における再帰は、引数があるとなかろうと「再帰」と呼ばれているのである (Papert, 1980)。つまり基準(b)は不適切なのである。

第2に、再帰的な心的状態の理解の判断にも問題がある²⁾。まず、基準(a)に関していえば、心的状態には「思っている」の他、「…するつもりだ (intend)」や「…したい (want)」などたくさんあり、必ずしも「思っている」が繰り返されるわけでない。さらに、aという人物がXという事態について心的状態yを有している状況を、**M-state** (y; a; X) と記述してみる。すると、「ママが<パパは浮気をした>と思っている」という状況は、

M-state (belief; Mom; <Dad cheated on her>)

と記述できる。さらに、「さつきちゃんは『ママは<パパが浮気をした>と思っている』と思っている」という状況は、

M-state (belief; Satsuki; **M-state** (belief; Mom; <Dad cheated on her>))

となる。すなわち、自己埋め込み構造をもつ状態として明らかに記述できるので、単なる反復とは異なっている。また、基準(b)に関していえば、上記のようにこの基準そのものが不適切なので、そもそも考慮に値しない。

Vitale (1989) の議論は、さまざまな再帰に関する認知研究を検討しようとしたという点では先駆的といえるかもしれないが、以上のように大きな問題点を含んでいる。そこで、以下では新たな視点から整理する枠組みを提示してみることにする。

(A) ことばの指示範囲について

まず、「再帰的」あるいは「再帰」ということばを、構造と処理を別々に考慮して、

- ① あるものがなんらかの意味で、自分自身に帰ってくる構造をもつと言えること。
- ② あるものがそれ自身で構成・定義されていて、自己埋め込み構造をなしていること
- ③ その処理をアルゴリズム（フローチャート）によって、明確に表現・定義可能であること。

という3つの基準を設け、その満たし方の違いによって、3つのレベルに分けることが有効であると考えられる。

● **レベル1**：もっとも広義のものであり、基準①のみ満たせばよいものである。すなわち、必ずしもその処理をアルゴリズム（フローチャート）によって、明確に表現・定義可能であることを要求しないだけでなく、自己埋め込み構造をもつことも要求しない。あるものがなんらかの意味で、単に自分自身に帰ってくる構造をもつという基準のみが要求される。例としては、再帰代名詞（*reflexive pronouns*）などが相当する。

このレベルを設定する利点は、広範囲の事象を捉えることができることにある。逆に欠点は、概念があいまいになり、もはや「再帰的」として捉えると誤解を招くことがあげられる。

● **レベル2**：基準①と②を満たす必要がある。すなわち、自己埋め込み構造をもつが、必ずしもその処理をアルゴリズム（フローチャート）によって、明確に表現・定義可能であることは要求しない。したがって、ある事象をなんらかの形式で記述したときに、その構造が再帰的であればよいのであって、その処理をコンピュータの再帰的手続きによるシミュレーションで完全に再現できる必要はない。例としては、再帰的な心的状態の理解、入れ子人形のマトリョーシカ（*matryoshka*）、エッシャー（*M. C. Escher*）の絵画などに現れる再帰的構造などが相当する。

このレベルを設定する利点は、あいまいさや誤解を与えない程度に日常的な事象を広く捉えることができることにある。逆に欠点は、処理は考慮せず構造のみで捉えてもよいことになるので、このレベルを「再帰的」とは認めがたい研究者（たとえば、コンピュータ科学者）が存在することが考えられる。

● **レベル3**：基準①、②、③のすべてを満たす必要がある。このレベルは、自己埋め込み構造をもつことが要求され、「その処理をアルゴリズム（フローチャート）によって、明確に表現・定義可能である」ので、プログラミング言語上の再帰的手続きによって、その処理をシミュレーション可能である。例としては、プログラミング言語における再帰的手続き以外に、漸化式や数学的帰納法、「ハノイの塔（*Tower of Hanoi*）」などのパズルの問題構造などが相当する。

このレベルを設定する利点は、プログラミング言語で表現し、シミュレーションが可能のように、きわめて厳密で誤解を招きにくいことがあげられる。逆に欠点は、あまりにも厳密なため、日常的にはほとんど存在しない人工的な概念となってしまう、難解であることがあげられる。

(B) ことばのニュアンスの違い

次に、用語にかかわる微妙なニュアンスの違いを、上記の分類と関連づけながら検討しておく。

第1は、英語の“recursive”と“reflexive”の違いである。両者は近隣概念であり、各々の

ことばの指し示す範囲が必ずしも一定の線で区切れるわけではない。しかしながら、基本的には「自己埋め込み構造をもつか否か」という基準がひとつの境界線になると思われる。「自己埋め込み構造をもつか否か」という基準は、「無限性を生み出すかどうか」という点で重要である。レベル1の自己埋め込み構造を持たない事象は、一度帰ってきたらそれで終了である場合が多く、必ずしも無限に続く条件はない。たとえば、再帰代名詞はその主語自身を指すことはあっても無限性を生み出すことはない。しかしながら、レベル2とレベル3の自己埋め込み構造は、その性質上、原理的には無限に続く条件がある。たとえば、再帰的な心的状態の理解は n 次の心的状態の場合まで考えられる。また、漸化式 $A_{n+1}=A_n+1$ も、 n が任意の値をとるので、無限に続くのである。“recursive”は、自己埋め込み構造をもつものであるのでレベル2とレベル3が相当し、“reflexive”はレベル1が相当することになる。

第2は、日本語の「再帰的」と「再帰」の違いである。この両者を分けて考えるとよいと思われる。すなわち、「再帰的」とは「当該の事象をなんらかの形で記述したときに、自己埋め込み構造となっているもの」であり、情報处理的には必ずしも再帰処理によって実現される必要はない³⁾。これに対して、「再帰」は、自己埋め込み構造のみならず、情報处理的に再帰処理が要求されるものとする。ゆえに、レベル3で話を進めるときは、当該の事象に対して「再帰的」、「再帰」のいずれも使えるが、レベル2で話を進めるときは、「再帰的」ということばのみが使えるということになる。ただし、この概念を総称的に使うときには、以下で<再帰>と記述する。

(C) 構造間の差違について

以上の枠組みを踏まえると、構造間の差違を次のように整理することが可能である(図3参照)。

ある事象(A)がその中に何かを埋め込める構造を有するときに、

- ・ある事象(A)を単に表象しているときの次数は、一次(1st-order)である。
- ・ある事象の中にある事象が埋め込まれているときの次数は、二次(2nd-order)であり、「埋め込み構造(embedding structure)」=「入れ子構造(nesting structure)」である。

二次の構造は、さらに2つに分かれ、

- ・ある事象(A)の中に別の事象(B)が埋め込まれているときは、単なる埋め込み構造である。
- ・ある事象(A)の中にその事象自身(A)が埋め込まれているのが、「自己埋め込み構造(self-embedding structure)」=「再帰的構造(recursive structure)」である。

原理的には、二次、三次、四次、…と埋め込み構造を続けることができる。なお、レベル3では、「その処理をアルゴリズム(フローチャート)によって、明確に表現・定義可能であること」という基準があるので、レベル3に限定される場合、上記の「埋め込まれて

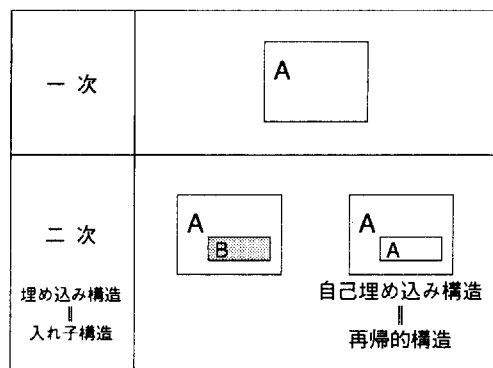


図3 構造間の差異

いる」という構造面での記述は、「手続きが呼び出される」という処理面での記述に言い換えることが可能である。

以上のように3つのレベルの枠組みを設定し、ことばのニュアンスの違いを考慮することで、当該の事象がレベル2もしくはレベル3の基準を満たしたときに、「再帰的」と認められることが明確になる。また、これまでの再帰的な事象についての認知研究がどのレベルの基準のもとで成り立つものであるのか、その位置づけが明確になる。たとえば、論理—数学的知能におけるプログラミング言語に関する研究はレベル3の基準のもとで成り立ち、社会的知能における再帰的な心的状態の理解に関する研究はレベル2の基準のもとで成り立つ。ゆえに、当該の研究対象がどのレベルで話を進めているのかを明確にできることで、研究者間での議論のすれ違いを回避できるはずである。

5. 認識の深化のモデル

前節において、論理—数学的知能におけるプログラミング言語に関する研究と社会的知能における再帰的な心的状態の理解に関する研究は、違った基準のもとで成り立つものであり、同一レベルで論じられないことが明確になった。そこで、論理—数学的知能と社会的知能における＜再帰＞を、可能な操作の水準をもとに、認識の深化として位置づけたものが図4である。

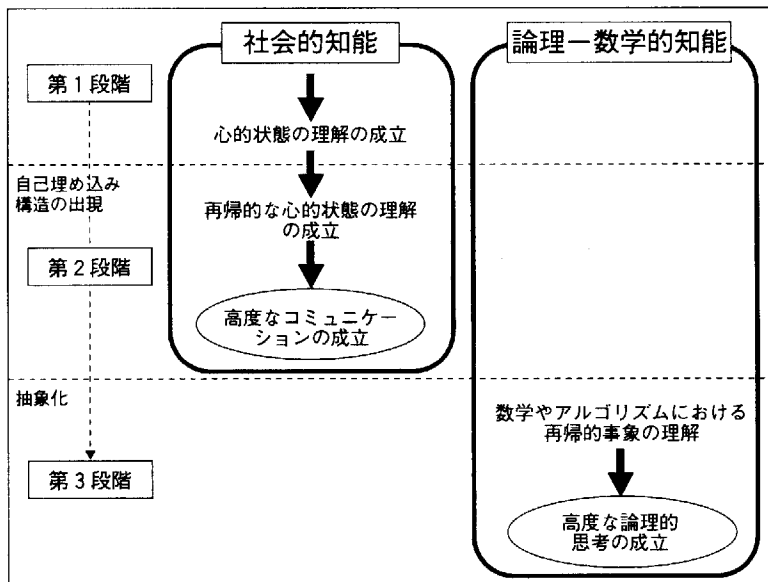


図4 「再帰的な事象についての認識の深化」のモデル図(1)

第1段階は、自己埋め込み構造をもつ状態を理解できない。たとえば、社会的知能において、一次の心的状態は理解できるが、二次以上の再帰的な心的状態の理解はできないレベルである。

第2段階は、自己埋め込み構造が理解できるようになり、レベル2の＜再帰＞が扱えるようになる。たとえば、社会的知能において、二次以上の再帰的な心的状態を理解できるレベルである。これは、高度なコミュニケーションの成立の前提となる。

第3段階は、抽象化された自己埋め込み構造の理解ができるようになり、レベル3の＜再帰＞が扱えるようになる。たとえば、論理－数学的知能において、数学やアルゴリズムにおける再帰的な事象の理解が可能になる。これは、高度な論理的思考の成立の前提になる。

図4のモデルでは、論理－数学的知能において、第2段階に相当する欄が空白になっている。もし、この深化のモデルがある程度の妥当性をもつのであれば、この空白に対応する認知能力があるはずである。その場合の認知能力は、レベル2の基準であった

- ① あるものがなんらかの意味で、自分自身に帰ってくる構造をもつと言えること
- ② あるものがそれ自身で構成・定義されていて、自己埋め込み構造をなしていること

に加えて、少なくとも以下の2点の基準

- ④ 埋め込み次数が小さい（二次や三次程度）場合、意識的にではなく自動的に生じる認知過程であること
- ⑤ 人間以外の個体においては、その認知能力に制限があるという知見が存在すること

を満たすはずである。

この候補のひとつとして、「高次（higher-order）の関係の理解」が考えられる。この点について、松沢（2002）に記述されている物と物との関係づけを例に考えてみる。たとえば、「種を石にのせる」ことは、「のせる」という行為によって物（種）と物（石）とが一つの関係でつながれている。次に、「種を石にのせ、別の石でその種を叩く」とする。これは、「叩く」という行為によって、「種と石の関係づけ」と物（別の石）とが関係づけられており、一つ次数が高い関係といえる。この関係づけは、物と行為を増やすことで、意識的により高次の関係づけへと続けていくことが可能である。すなわち、「『＜関係＞の関係』の関係の…」といった具合に自己埋め込み構造をもつのである。したがって、高次の関係の理解は①と②を満たすものである。また、人間の場合には、どこまでも階層構造の深くなる道具使用があるが、チンパンジーには限度があると考えられている（松沢、2002）。さらに、人間はこのような関係づけを、それほど高次でない場合は自動的に行う。ゆえに、高次の関係の理解は④と⑤を満たすといえる。

以上から、論理－数学的知能において、第2段階に相当する再帰的な事象の認識として、「高次の関係の理解」と、その前段階の第1段階として「関係の理解」がひとつの候補となる可能性が考えられるのである。これを踏まえて、再帰的な事象についての認識の深化を新たにまとめものが図5である。

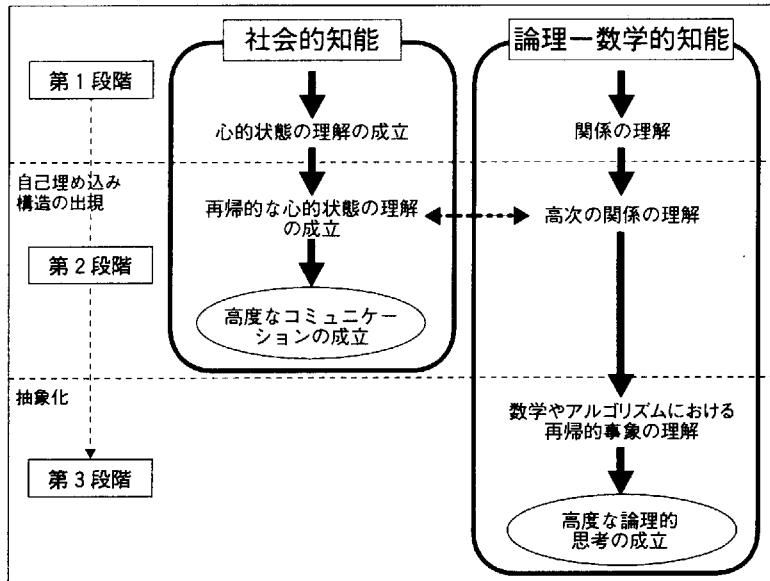


図5 「再帰的な事象についての認識の深化」のモデル図(2)

6. まとめと展望

本論文では、再帰的な事象についての人間の認識を心理学的な視点から展望することを目的として、これまで実施されてきた2つの研究領域をまとめる新たな枠組みを提示した。具体的には、構造と処理を別々に考慮して3つの基準を設け、その満たし方の違いによって、3つのレベルに分けるというものであった。さらに、それを踏まえて「再帰的な事象についての認識の深化」のモデルを提示し、2つの研究パラダイムの位置づけを行った。これらによって、今後の研究への新たな視点が提供できたと考えられるが、以下のような問題点と展望も残されている。

第1に、第2段階において、社会的知能における再帰的な心的状態の理解と論理-数学的知能における高次の関係の理解が、同一のレベルのものとして議論できるのかどうかという問題がある。両者は、再帰的構造を生み出さうという意味では同一であるが、現象的には違うものである。ゆえに、さらに検討が必要である。

第2に、社会的知能と論理-数学的知能以外においても考察を深める必要がある。たとえば、

The rapidity that the motion that the wing has has is remarkable.

のように、句や節が再帰的構造をなしている「タマネギ文 (onion sentence)」がある (Pinker, 1994)。このような複雑な文を、人間はしだいに理解したり、産出できるようになるが、これは言語的知能が作動するためである。ゆえに、再帰的な事象についての認識を言語的知能においても検討できることであろう。

第3に、「高次の関係の理解」という問題を類似性 (similarity) や類推 (analogy) の観点からさらに深められるかもしれない。事物の関係構造を一步深めて見てみよう。あるAと別のA'に何

か関係があることが理解できているとき、AとA'の関係を表象できていることになる。さらに、「AとA'の関係」と「BとB'の関係」の関係の表象は、「『関係』の関係」を表象していることになる。これは二次の関係である。

それでは、「『関係』の関係」を表象（理解）していることは、どうすれば確認できるのであるか。ひとつの方法として類似性判断が利用できると思われる。たとえば、ある事象を表象できているかどうかを直接判定するのが難しい場合、ある事象と別の事象が「同じか異なるか」という同異判断が正しくできることをもって、ある事象が明示的（explicit）に表象できているかどうかを判定することが可能になる。ここで、Holyoak & Thagard（1995）によると、類似性の認識のレベルとして、一組の対象の間だけで行なわれる「属性対応づけ（attribute mapping）」、2つのスロットをもつ関係の類似性に基づくものの間で行なわれる「関係対応づけ（relational mapping）」、および高次の類似した関係に基づく「システム対応づけ（system mapping）」の3つがあげられている。属性対応づけは、ある「属性」と別の「属性」が「同じか異なるか」を確認できる。また、関係対応づけは、ある「関係」と別の「関係」が「同じか異なるか」を確認できる。すなわち、一次の関係同士の同異判断ができた場合、（各々の）一次の関係が表象できていることになる。さらに、システム対応づけは、ある「『関係』の関係」と別の「『関係』の関係」が「同じか異なるか」を確認できる。すなわち、二次の関係同士の同異判断ができた場合、（各々の）二次の関係を表象できていることになる。したがって、「『関係』の関係」という高次の関係の理解ができるかどうかは、システム対応づけが可能かどうかによって判断できると考えられる。

Holyoak & Thagard（1995）によると、関係対応づけまでは類人猿でも可能であるが、システム対応づけは6歳以降の人間にしかできないことであるという。すなわち、一次を超えた二次の関係である「『関係』の関係」の表象は、人間独自のものである可能性が高く、このことから再帰的な事象を理解できることが、人間らしい知性の一端を示すとも考えられる。

エッシャーの絵画やバッハの曲に＜再帰＞が豊富に含まれていることを示したホフスタッターは、「再帰性がなんらかの意味で知能のタネに関係している」と考えているが、まだ直観にすぎず「それが裏付けられるかどうかは将来の研究にかかっている」と述べている（Hofstadter, 1985）。今後さまざまな角度から再帰的な事象についての認識に関する研究が進められることによって、「人間らしい知性とは何か」という心理学の根源的問題にひとつの視点を与える可能性が期待されるのである。

註

- 1) ただし、Mithen（1996）は、試行錯誤や連合による学習を可能にする汎用的な「一般知能（general intelligence）」の存在も認めている。
- 2) Vitale（1989）は、妥当性に疑問があるMiller, Kessel, & Flavell（1970）の研究方法のみを取り上げており、Perner & Wimmer（1985）以降の研究方法に触れずに判断を下していることも大きな問題点である。
- 3) これは、再帰的構造をもつデータを、必ずしも再帰的手続きによる処理で行う必要はないということである。実際、再帰処理のないプログラミング言語では、反復アルゴリズムに置き換えて解決する必要がある。

謝 辞

本論文を作成するにあたり、ご指導いただきました京都大学大学院教育学研究科教授 子安増生先生に心より御礼申し上げます。また本論文を執筆する上で、平成14年度文部科学省科学研究費補助金(特別研究員奨励費)の援助を受けました。

文 献

- Anderson, J. R., Pirolli, P., & Farrell, R. 1988 Learning to program recursive functions. In Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J. (Eds) *The Nature of Expertise* (pp. 153-183). Laurence Erlbaum Associates.
- Gardner, H. 1983 *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books, Inc.
- Gardner, H. 1999 *Intelligences reframed: Multiple intelligences for the 21st century*. New York: Basic Books, Inc. 松村暢隆(訳), 『MI:個性を生かす多重知能理論』, 新曜社, 2001年.
- 林 創 1999 再帰呼び出しを含む手続きの処理の難しさ. 認知科学, 6, 389-405.
- 林 創 2001 「心の理論」の二次的信念に関わる再帰的な心的状態の理解とその機能. 京都大学大学院教育学研究科紀要, 47, 330-342.
- 林 創 2002a 児童期における再帰的な心的状態の理解 教育心理学研究, 50, 43-53.
- 林 創 2002b コミュニケーションにおける再帰的な心的状態の理解. 京都大学大学院教育学研究科紀要, 48, 478-490.
- 林 創 2002c 幼児期における「心の理論」の二次的信念の理解. 日本発達心理学会第13回大会発表論文集, 286.
- 林 創 2002d 再帰的な考え方による複雑な問題の解決可能性. 心理学研究, 73, 179-185.
- 林 創・浅井杏子・高橋典生 2002 他者の良くない行為の判断に及ぼす心的状態の理解の効果 —作為・不作為に注目して—. 日本教育心理学会第44回総会大会発表論文集, 117.
- Hofstadter, D. R. 1985 *Metamagical themas*. Basic Book Inc. 竹内郁雄・斎藤康己・片桐恭弘(訳), 『メタマジックゲーム』, 白揚社, 1990年.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. 1995 *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT Press. 鈴木宏昭・河原哲雄(監訳), 『アナロジーの力』, 新曜社, 1998年.
- 糸井尚子 1982 推論と再帰的な情報処理能力 —パラドクスの理解について—. 教育心理学研究, 30, 37-45.
- 金沢 創 1999 他者の心は存在するか —<他者>から<私>への進化論. 金子書房.
- 子安増生 1999 幼児期の他者理解の発達—心のモジュール説による心理学的検討. 京都大学学術出版会.
- Leekam, S. 1991 Jokes and lies: Children's understanding of intentional falsehood. In A. Whiten (Ed.), *Natural theories of mind: Evolution, development and simulation of everyday mindreading* (pp.159-174). Oxford: Basil Blackwell.
- 松沢哲郎 2002 進化の隣人ヒトとチンパンジー. 岩波新書.
- 道田泰司・宮元博章・秋月りす 1999 クリティカル進化論 —『OL進化論』で学ぶ思考の技法—. 北大路書房.
- Miller, P. H., Kessel, F. S., & Flavell, J. H. 1970 Thinking about people thinking about people thinking about...: a study of social cognitive development. *Child Development*, 41, 613-623.
- Mithen, S. 1996 *The Prehistory of the mind: The cognitive origins of art, religion and science*. London: Thames and Hudson Ltd. 松浦俊輔・牧野美佐緒(訳), 『心の先史時代』, 青土社, 1998年.
- 小川秀司 1997 霊長類における同種間での他者理解の進化. 心理学評論, 40, 22-38.
- Papert, S. 1980 *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc. 奥村貴世子(訳), 『マインドストーム』, 未来社, 1982年.
- Perner, J., & Wimmer, H. 1985 "John thinks that Mary thinks that...": Attribution of second-order beliefs by 5- to 10-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 39, 437-471.
- Pinker, S. 1994 *The language instinct*. London: Allen Lane. 椋田直子(訳), 『言語を生み出す本能(上)・

- (下) J, NHKブックス, 1995年.
- 谷川真樹・市川伸一 1996 プラグマティックな教示による再帰概念の理解. 認知科学, **3**, 83-95.
- Vitale, B. 1989 Elusive recursion : A trip in recursive land. *New Ideas in Psychology*, **7**, 253-276.
- Wirth, N. 1986 *Algorithms and data structures*. Prentice-Hall, Inc. 浦昭二・國府方久史 (訳), 『アルゴリズムとデータ構造』, 近代科学社, 1990年.
- Yuill, N., & Perner, J. 1987 Exceptions to mutual trust: Children's use of second-order beliefs in responsibility attribution. *International Journal of Behavioral Development*, **10**, 207-223.

(日本学術振興会特別研究員・博士後期課程3回生, 教育認知心理学講座)